

林道の幾何構造と輸送効率

山 本 誠

(農学部林業工学研究室)

The Relation between the Transportation Efficiency and the Geometrical Design of Forest Roads

Makoto YAMAMOTO

Laboratory of Forest Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract : The problems of transportation on forest roads lie in how best the terrain can be economically overcome. That is to say, in order to solve the problems it is necessary to study the functional relationship between the gradient and the length of the roads, as well as the time required in relation to the amount of the fuel consumed for a given road.

Having conducted some surveys, it was concluded that in the forest roads:

1. It is more appropriate to express the optimal speed in terms of the time required for arrival per kilometer, rather than the distance run per hour, which is the reciprocal number of the former.

2. The transportation efficiency is subject to the volume of the load and the speed of the transportation.

As shown in Fig. 4 and Fig. 5, these factors can affect the transportation efficiency in a complexed manner.

In timber transportation, it is characteristically the case that in roads of adverse grade, empty vehicles are dominant, while in favorable grade, the loaded vehicles are more common.

Therefore, it may be said that in order to obtain the maximum transportation efficiency it is necessary to have the largest vehicles load at their maximum capacity.

3. In final analyses, the forest roads built at the longitudinal grade of 7 % would be of the best geometrical design.

緒 言

わが国の林地のほとんどは山岳地に存在している。このことは輸送問題を論ずるとき、すべからく高低差の克服として切り離すことのできない事項である。この輸送経路の適切な表現法にはまだ統一された見解はなく、杉原ら¹⁾が路線の迂回率という概念で説明をしているにとどまっている。したが、て、ある高低差に対して、如何なる縦断勾配で、如何なる路線長で接近するのが有利な輸送方法であるかについては論じられていない。

本論では輸送効率として論じられる範囲、およびその輸送効率良否判定の尺度として、輸送所要時間、輸送所要燃料の2要因を基に論じる。

評 価 基 準

道路の幾何構造の良否を評価する一つの尺度として車両速度がよく使われているが、この場合、道路の走行性を対象とすれば、より高速走行が可能なのが高い評価をうける。ところで、到達目的地点が立体的に存在する林地の場合は車両走行速度のみによって評価することは一面観にすぎず。すなわち、Fig. 1 に示す縦断勾配が非常に緩やかな(B)ルートでは勾配抵抗が小さく高速走行が期待できる。一方(A)ルートは速度規制因子としての勾配抵抗が大きく、高速走行は期待し難い。しかし路線長ははるかに短い。

輸送施設としては高低差を含む区間距離を最短時間で到達し得る構造をもつことが高い生産性に

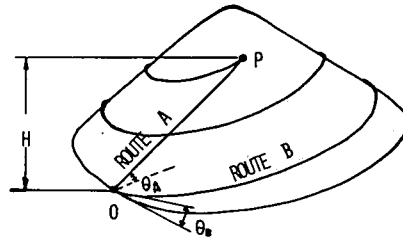


Fig. 1 Two models of the route settings on mountainous forest.
Route A: Shorter length, with large scale of grade-resistance.
Route B: Longer length, with small scale of grade-resistance.
H: Constance.

$$\text{The time required to arrive at the destination} = \frac{\frac{H}{\sin \theta}}{\frac{V}{3.6}} \text{ (sec)}$$

$$\text{The task} = GVW(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)L = GVW \cdot \mu \cdot L + GVW \cdot H$$

つながるものと解釈すれば、(A)、(B)両路線の路線長が車両走行速度と相まって到達所要時間に関与し、路線の優劣の判定が得られるわけである。したがって、林道における車両速度は、単に、毎時 P Km/h の車両速度を保証する幾何構造の林道、といっても必ずしも妥当な評価を与えない。

調 査

輸送所要時間と勾配の関係を、一般の既設林道63路線²⁾それぞれの各勾配区における一般交通車両（運材車）の走行速度を、それぞれの条件ごとに調査した。

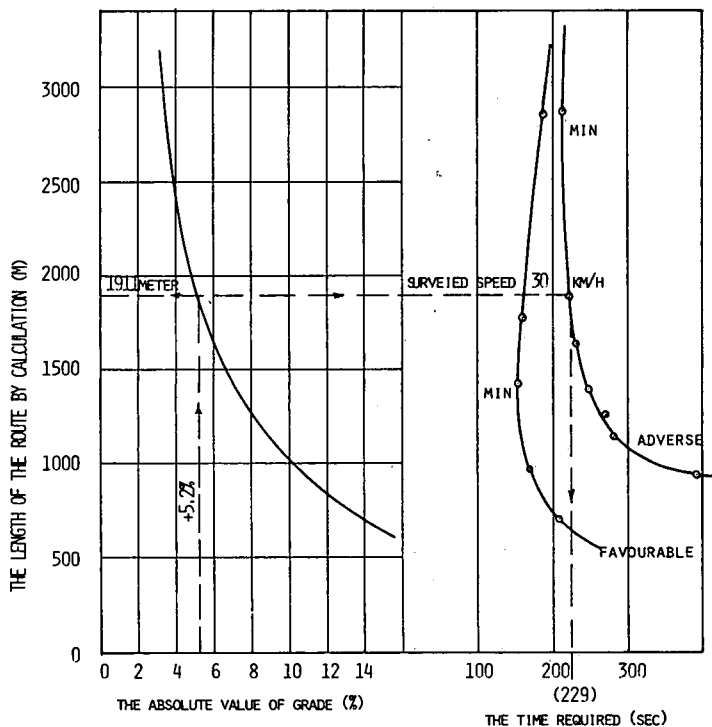


Fig. 2 (a) The relation between the route setting and the time required—Loaded vehicle.

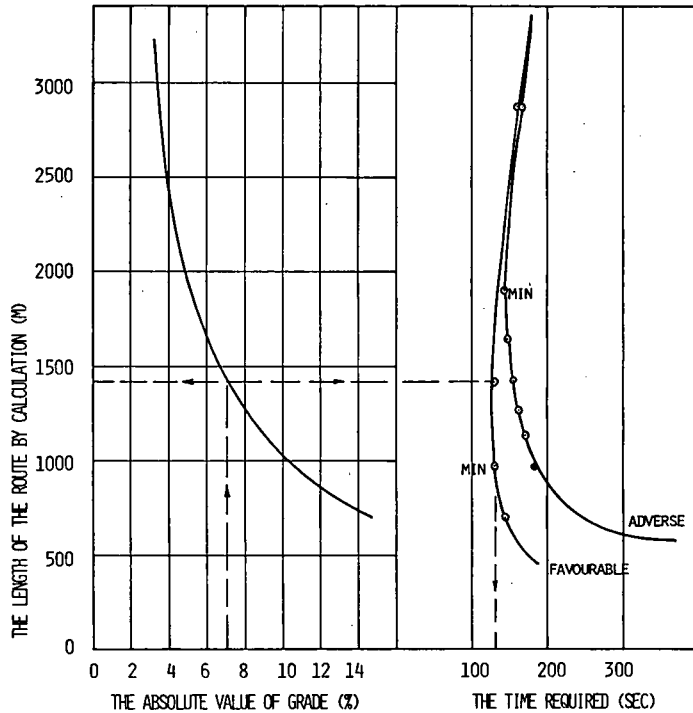


Fig. 2 (b) The relation between the route setting and the time required—Empty vehicle.

各勾配における運材用車両の走行速度測定値を基に、高低差 100 m を基準として走行速度および到達所要時間を算定作図すると Fig. 2 (a), (b) の如くなり、運材車による運材作業を対象に路線設定を想定するとすれば従来考えられていた縦断勾配^{2,3)}よりは可成り急勾配の範囲が、輸送時間の短縮には寄与することを知り得る。

以上のことから種々の異なった条件の路線における輸送速度を考える場合は、従来から使われている単位時間当たり走行距離ではなく、単位距離を走行するに要する時間で考えるのが妥当であることがわかる。

なお、林道の機能には森林作業を効率よく進めるという機能と輸送機能とに大別されようが、前者の機能の濃厚な路線については、かような考え方が当らないのは当然である。

考 察

輸送効率 輸送力を検討する資料として輸送量と、輸送に関する変動経費の主たる部分を占める燃料費との関連について論議せねばなるまい。燃料消費率については概ねを別報⁴⁾で述べたが、ここでは、積載量すなわち単位輸送量を配慮した燃料消費率を比較する。そのため燃料 1 l で輸送し得る積荷（木材）の量 ($t \cdot km$) で比較するものとし、これを輸送効率とする。すなわち、

$$\text{輸送効率 } Q = (GVW - LVW) \left(\frac{km}{l} \right) \dots\dots\dots (1)$$

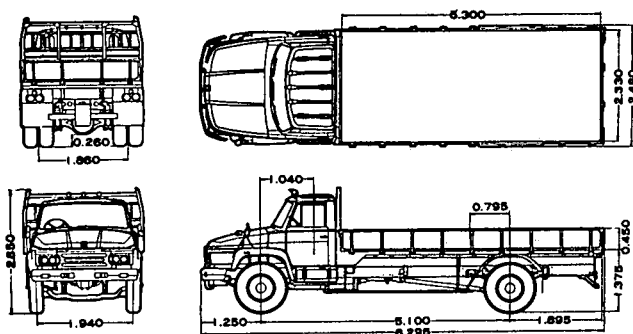
ここに GVW: 車両総重量 (t)

LVW: 空車重量 (t)

km/l: 燃料走行率

したがって輸送効率の大きい車両ほど少ない燃料で多量の輸送が可能であることを意味する。

輸送効率は当然のことながら車種によって異なるが、ここでは Fig. 3 の大型運材車を例とする。公称の全装備重量 (14.1 t) の運材車が平滑な舗装路面上での定地走行試験の結果値は 42km/h 時において走行率 4.17 km/l で 最少消費率を示した。速度変化に対する燃料の走行率 (km/l) を



MODEL	TK-20L
WEIGHT	
L.V.W.	5880 KG
CREW	3 SEATER
MAX. LOADING	8000 KG
G.V.W.	14100 KG
PERFORMANCE	
MAX. SPEED	95 KM/H
ASCENTABILITY	0.27
MIN. RADIUS OF TURNAROUND	8.4 M
MAX. ENGINE HORSEPOWER	185ps/2300RPM
MAX. ENGINE TORQUE	65KG-M/1200RPM

Fig. 3 The dimension of the logging motor truck for the tests.

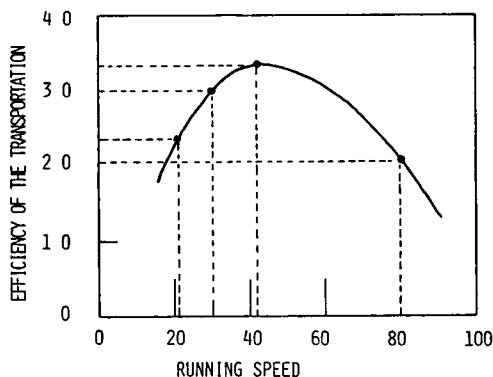


Fig. 4 The efficiency curve of the transportation.

従法等がある。縦断勾配に関しては次節に述べることにし、ここでは輸送力の対象となる積載量との関係について述べる。

自動車の積載量が燃費、とくにここに言う輸送効率を決定的に支配するであろうことは (1) 式か

もとに(1)式で輸送効率を数値実験し算出すると Fig. 4 の如くなる。輸送効率は走行速度が経済速度より低くとも高くとも小さい値をとる。すなわち、経済速度 $V_E=42$ km/h での輸送効率を 100% とすれば、 $0.7 V_E$ の速度 30 km/h に対して 95%, $0.5 V_E$ の速度 21 km/h に対して 85%, $1.43 V_E$ の速度 60 km/h に対して 96%, $2.0 V_E$ の速度 84 km/h に対して 62% とそれぞれ低下する。

また、この輸送効率によぼす要因は速度の他に縦断勾配、路面状態、運転者の操

らも容易に判断されるが、積載量と燃料消費率との関係は公称の定積荷積における値を 100 % とすると空荷で 87%, 半載で 92%, 5 割増の積載でも 110 % 程度の変化に過ぎないと星埜は述べている⁵⁾。そこでこれらの値を基に輸送効率を考えれば Fig. 5 に示すように、輸送効率は積載量にほぼ比例して増大するわけである。したがって、他の条件を無視して述べれば、運材の如く大単位の輸送には、より大型の車両で最大積載許容量の上限値の大量輸送がより有利ということとなる。

しかるに最大積載量の状態で経済速度 V_B で走行可能な道路構造を構造評価の一基準と考えることができる。この意味において、林道における大型車、すなわち運材車は許容積載量の上限値か、または空車の状態にあるので評価の段階では、この 2 通りについてのみ取扱えばよいこととなる。

燃料消費率 ここにいう燃料消費率とは時間当たり燃料消費量をいう。輸送経費に占める燃料費の割合は決して大きいものではなく、ただか 20 % 程度である⁶⁾。しかし、その輸送システムの稼働状況を的確に表わすという点で輸送費予測の尺度としてしばしば使われる。

燃料の効率に関しては、大型トラックに満載した状態を基準として考えるのが便利なことについては前述した。しかし運材過程という、やや特殊な輸送では上り勾配は空車、下り勾配は実車という条件で論議しなければ妥当でない。

燃料消費量の表現は l/km 単位か、あるいはこの逆数の km/l を使用するのが一般的であるが、前述の如く距離の克服を問題とするのではなく時間の克服を問題として論議を進めるので輸送所要時間を関数として、燃料消費量 / 運行時間、 (l/h) で扱う。

Fig. 3 に示した大型トラックの燃料消費実験の測定値をもとに数値実験し、時間当たり燃料消費 $F_{to}(l/h)$ と速度 $V(Km/h)$ の関係を星埜⁷⁾ の示した燃料消費量の算定式にあてはめ係数を求めた。

$$F_{to} = F_0 + \alpha V + \beta V^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに F_{to} : 平坦路を (V) で走行するときの消費量 (l/h)

F_0 : 主として機関の内部抵抗に関する定常的消費量

α, β : 外部走行抵抗に関する消費量の係数

V : 車両速度

勾配部での消費量 $F_{ts}(l/h)$ と速度 $V(km/h)$ の関係は勾配抵抗に比例して消費量が増加するものと考えれば、勾配に対しては

$$F_{ts} = F_{to} + \gamma S V \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに F_{ts} : 勾配部における燃料消費量 (l/h)

S : 勾配

γ : 常数

で表わすことができる。なお常数 γ は路面状態にはあまり関係しない路側条件、坂路長等運転者の心理状態、技量度に関わる常数である。算定値によれば $\gamma = 0.117 \pm 0.095$ の範囲にある。

Fig. 6 (a) は (3) 式をもとに求めた勾配と速度の時間当たり燃料消費量の関係図である。下り勾配

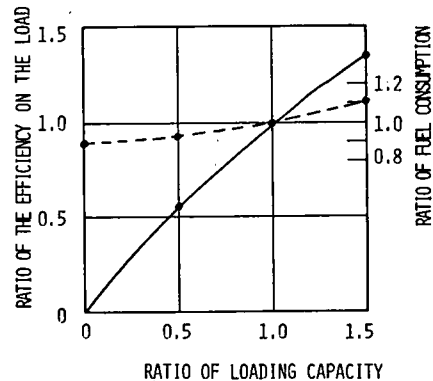


Fig. 5 The ratio of transportation efficiency.

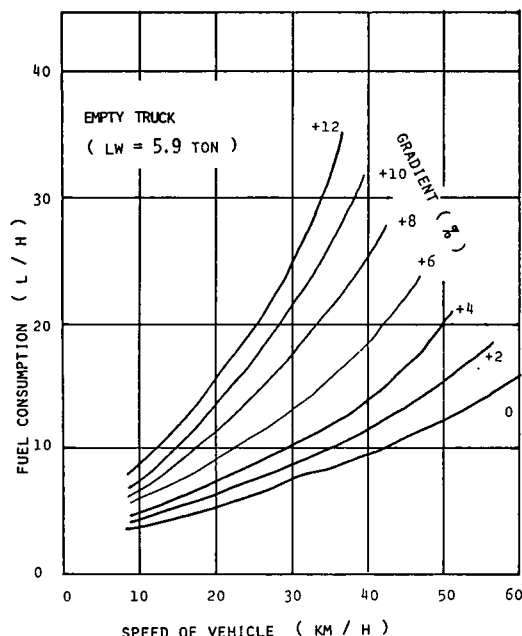


Fig. 6(a) Calculated fuel consumption on the adverse grades — (l/h).

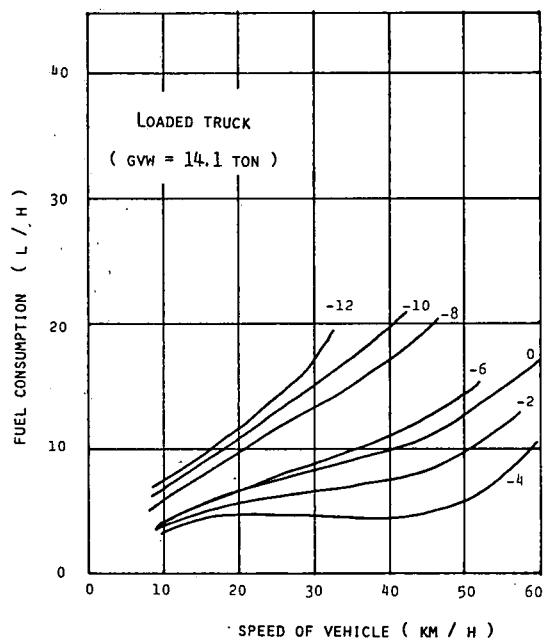


Fig. 6(b) Calculated fuel consumption on the favorable grades — (l/h).

については、人間系の影響が大きく(3)式を適用し難い。実測値をもとに補間法を使って示すと、ほぼ Fig. 6 (b) のようになる。

下り勾配については、クラッチアウトの状態で行うと燃料消費量が大幅に減少し、(3)式に近似する測定結果を AGG⁸⁾ が報告している。が、かような走行はわが国の林道構造を考えると運転上の危険度が増すので実用的ではなからうから考慮しない。

要 約

林道における輸送問題は地形の高低差克服法の問題とも言え、勾配と坂路長、そしてその区間走行に要する時間と燃料の多寡を論議する問題でもある。したがって、① 路線上を走行する車両の輸送速度は、従来の単位時間当たり走行距離ではなく、その逆数の単位距離当たり走行所要時間で評定するのが合理的であること。また、② 輸送中の状況によって輸送効率決定の基準変数となる単位燃料消費量も走行所要時間を基に考えねばならない。したがって、③ 路線の勾配と速度と燃料消費量を時間の単位で算定論述した。

引 用 文 献

- 1) 杉原彦一, 岩川治, 陸上路線の迂回率について. 日林誌, 42, 269-275, (1960)
- 2) 加藤誠平, 林道網と作業道の考え方. 林道研論集, 103-110, (1966)
- 3) Yamamoto, M., Study on how the roadside conditions of forest roads affects trafficability of vehicles (I). J. Jap. For. Soc., 52, 107-111, (1970).
- 4) 山本誠, 林道の幾何構造と運材車の燃料消費率. 京計算研, 投稿中.
- 5) 星埜和, 自動車の運動と道路の構造について (1), 道路, (11), 318-323, (1950).
- 6) 交通工学研究会編, 交通工学ハンドブック. 850-852, 技報堂, 東京, (1973).
- 7) 星埜和, 自動車のガソリン消費量を実測した結果. 道路, (10), 261-266, (1949).
- 8) Agg, T. R., The economics of highway grades. Iowa State Coll., (21) 39, (1923).

(昭和51年9月30日受理)

(昭和52年3月10日分冊発行)